

REPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION

**ÉCOLOGIE OPÉRATIONNELLE  
EN  
ZONE TROPICALE SEMI-ARIDE**



GERDAT

GROUPEMENT D'ETUDES ET DE RECHERCHES  
POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'AGRONOMIE TROPICALE





REPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION

# **ÉCOLOGIE OPÉRATIONNELLE EN ZONE TROPICALE SEMI-ARIDE**

par

J.-F. DURANTON, Dr. Sc., Eco-botaniste,  
M. LAUNOIS, Dr. Sc., Eco-entomologiste.

GERDAT

GROUPEMENT D'ETUDES ET DE RECHERCHES  
POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'AGRONOMIE TROPICALE

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction par tous procédés,  
y compris la photographie et le microfilm, réservés pour tous pays.

© Ministère de la Coopération et GERDAT, 1978.



## AVANT-PROPOS

En rédigeant cette mise au point méthodologique, les auteurs ont tenté de dégager l'enseignement de neuf années d'expérience multidisciplinaire vécues dans des pays aussi divers que Madagascar, le Mali, la Haute-Volta et le Niger. Par souci de concision, seuls les principes généraux conduisant à la notion d' « Ecologie opérationnelle » sont présentement développés, les exemples d'application étant décrits ailleurs.

En créant le Programme de Recherches Interdisciplinaire Français sur les Acridiens du Sahel (P.R.I.F.A.S.) avec le concours du Fonds d'Aide et de Coopération (F.A.C.) de la République Française, le Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.) (\*) a donné à l'équipe dont font partie les auteurs l'occasion d'appliquer en vraie grandeur les principes de l'écologie opérationnelle. Qu'ils en soient ici remerciés.

---

(\*) 42, rue Scheffer, 75016 Paris.

# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	5
1. LES ENTITES ECOLOGIQUES	
1.1. Notions de biogéocénose et d'écosystème .....	7
1.2. Notions d'environnement et d'environné .....	9
1.3. Recensement des types d'environnements par l'étude des groupements végétaux .....	10
1.4. Identification des types d'environnements .....	12
2. ANALYSE ECOLOGIQUE : L'OBSERVATION EXPERIMENTALE	
2.1. Choix de l'échelle d'étude .....	13
2.2. Notion d'observation écologique expérimentale .....	14
2.3. Méthodes d'investigation .....	15
3. SYNTHÈSE ECOLOGIQUE : THÉORIE DE L'OPTIMUM ECOLOGIQUE ET DU DOMAINE DE SURVIE DES ESPÈCES	
3.1. Généralités .....	17
3.2. Principes méthodologiques .....	18
3.3. Analyse de l'environnement en facteurs discriminants ...	19
3.4. Etablissement des tables de correspondance entre l'environnement et l'environné .....	20
3.5. Modélisation et simulation opérationnelle .....	21
3.6. Applications .....	22
3.6.1. Recherche.	
3.6.2. Formation.	
3.6.3. Surveillance.	
3.6.4. Lutte.	
4. APPROCHE CONCERTÉE PLURIDISCIPLINAIRE ET INTERDISCIPLINAIRE	
4.1. Constitution et animation d'une équipe intégrée .....	24
4.2. Préparation d'une opération « Ecologie opérationnelle » .	26
4.3. Planification des opérations de mise en valeur agricole ..	27
4.4. Articulation entre la recherche, la formation et la vulgarisation .....	28
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	28
AUTEURS CITES .....	31



## INTRODUCTION

L'étude des relations entre les organismes et leurs environnements a fait de réels progrès à partir du moment où l'homme a perturbé profondément son milieu. L'écologie est devenue alors une science de premier plan, engagée dans la vie active. Le plus important résultat est la sensibilisation du public aux problèmes de nuisance, de pollution, de dégradation incontrôlée de « l'environnement ». En tentant de préserver l'habitat naturel de l'homme, les écologistes ont dénoncé avec conviction parfois avec violence les excès de différentes entreprises agricoles, forestières ou industrielles et le non-sens de certains aménagements.

Or, les économistes et les aménagistes sont ceux qui sont les plus exposés aux critiques car leur travail consiste précisément à modifier l'environnement en fonction de critères économiques, financiers, politiques, sociaux. Placés à tort ou à raison en position d'accusés, ils ont développé certaines réticences vis-à-vis de l'écologie, cette science leur apparaissant généralement comme un facteur de contrainte supplémentaire. Les rares tentatives faites pour associer cette discipline à leurs plans de campagne ont été découragées par l'inadaptation des recherches effectuées aux impératifs de temps d'exécution des programmes. De plus, trop souvent, les écologistes ont cherché à comprendre le mécanisme des systèmes écologiques en partant des études du micro-milieu, échelle à laquelle il est très difficile d'intégrer harmonieusement les interactions des nombreux facteurs agissants.

En zone tropicale semi-aride, l'inadaptation de l'écologie aux réalités économiques semble en partie due à une carence méthodologique à laquelle il faudrait tenter de remédier en reconsidérant le type d'approche des relations organisme-environnement. Le terme organisme est pris ici dans l'acception la plus large et désigne les différents êtres vivants et les communautés qu'ils constituent. Le sujet traité est limité aux études effectuées en zone tropicale semi-aride (Sahel de l'Afrique Occidentale) bien que les principes de base dont il sera fait mention aient une portée plus générale.

Les pays en voie de développement ont des ressources alimentaires limitées très dépendantes des conditions éco-météorologiques. L'équilibre existant entre les populations humaines et l'approvisionnement en vivres est précaire, et constitue un facteur limitant pour le développement économique. La perspective d'aménagements hydro-agricoles dans des entités naturelles privilégiées comme la vallée du fleuve Sénégal, la plaine d'inondation du Niger au Mali, le Moyen Niger ou le Bassin du Lac Tchad a naturellement séduit les pays concernés qui ont cru y voir la possibilité d'accroître leur production agricole et de soustraire en partie celle-ci aux aléas météorologiques grâce à la maîtrise de l'eau sur de grandes superficies. Chaque expérience réalisée en vraie grandeur est caractérisée par une première période d'euphorie donnant les plus grands

espoirs. Par la suite, des problèmes liés aux maladies, aux ravageurs des cultures, ou au contexte humain, réduisent notablement les espérances et, dans quelques cas, la situation devient tellement critique que les investissements ne sont plus rentabilisés car les cultures sont ravagées par les insectes, les rongeurs et les oiseaux pour ne citer que quelques prédateurs. Il arrive que l'aide internationale parvienne à lutter contre ces ravageurs en finançant les traitements mais il faut reconnaître d'une part que ceux-ci ne sont pas toujours efficaces, et que, d'autre part, ils ne sont pas financièrement supportables par les exploitants et contribuent à perturber l'environnement des agrosystèmes. Il s'avère donc indispensable de prévoir la mise en place d'une stratégie de protection des aménagements fondée sur une connaissance précise des équilibres écologiques des régions concernées.

Pour souligner la volonté de promouvoir une écologie directement utilisable par les planificateurs, l'expression « Ecologie opérationnelle » a été choisie. Il s'agit de mettre au point une méthode d'investigation nouvelle appuyée sur les conceptions écologiques les plus récentes, et susceptible de fournir une garantie maximale d'obtenir des résultats exploitables par l'aménagiste à court, moyen et long termes. C'est dans ce sens que doit être compris le terme opérationnel. Cette forme d'approche écologique suppose un choix rigoureux des objectifs et des méthodes à mettre en œuvre pour les atteindre.

L'aménagement d'un territoire en vue de sa mise en valeur agricole consiste à remplacer un équilibre écologique plus ou moins ancien et harmonieux jugé peu favorable au développement économique et social par un nouvel équilibre mieux adapté aux exigences présentes et futures des populations humaines. Avant toute initiative d'aménagement, il est indispensable d'acquérir une connaissance suffisante du système pré-existant pour définir les objectifs susceptibles d'être atteints par une transformation du milieu, les moyens à mettre en œuvre, et les protections à envisager (BOUR et coll. 1974). La vigilance des écologistes et la souplesse adaptative du projet doivent être maintenues tant qu'un nouvel équilibre écologique n'est pas atteint et stabilisé.

L'Ecologie opérationnelle est fondée sur une connaissance suffisante des entités écologiques pour en tirer des enseignements au niveau des potentialités de mise en valeur. Le principe de l'analyse écologique proposé est l'observation expérimentale, notion qu'il conviendra de définir. L'objectif poursuivi est de parvenir aussi rapidement que possible à une synthèse écologique par le biais de la théorie de l'optimum écologique et du domaine de survie des espèces, synthèse qui doit conduire à une modélisation ouvrant des perspectives d'aménagement planifié. Ce type d'études requiert pour être mené à bien une équipe de recherche intégrée, en prise directe sur les réalités économiques. Dans la suite du texte, le problème des ravageurs des cultures sera pris implicitement ou explicitement comme exemple pour introduire différentes notions utiles



à la définition d'une nouvelle stratégie de recherches écologiques. Il n'en demeure pas moins que les principes énoncés ont une valeur générale et qu'une simple adaptation permettrait aux utilisateurs éventuels de traiter les problèmes en fonction de leurs préoccupations spécifiques.

## 1. LES ENTITES ECOLOGIQUES.

### 1.1. *Notions de biogéocénose et d'écosystème.*

En écologie, l'unité de référence est la biogéocénose (SUKACHEV, 1954). Cette notion est relativement simple à définir sur le plan théorique : il s'agit d'un ensemble de communautés végétales (phytocénoses) et animales (zoocénoses) et de leurs environnements entre lesquels existent des relations plus ou moins étroites dont l'ensemble constitue l'écosystème au sens proposé par BOURDU (1968).

En pratique, la délimitation des biogéocénoses s'avère délicate car elles sont toutes intriquées à des degrés divers dans un vaste continuum planétaire : la biosphère. Une telle constatation est peu heuristique dans son application immédiate, elle doit cependant être constamment présente à l'esprit de l'écologiste (PRENANT, 1934).

La terminologie est actuellement loin d'être fixée dans cette discipline en pleine évolution, et si des termes différents recouvrent souvent des concepts fort voisins, il arrive aussi qu'une même appellation désigne des concepts différents. La biogéocénose (écosystème de LAMOTTE et BOURLIERE, 1978, ou dans un sens plus restrictif écobiocénose de MOLINIER et VIGNES, 1971, à la suite de ODUM, 1959) est généralement l'élément de référence des études écologiques. Il est commode de lui attribuer une structure modulaire au sein de laquelle quatre unités fondamentales peuvent être distinguées :

- le milieu,
- les communautés d'organismes autotrophes,
- les communautés d'organismes hétérotrophes,
- l'écosystème.

Pour des raisons méthodologiques d'investigation, trois sous-unités sont identifiées au sein des communautés d'organismes hétérotrophes :

- les communautés de microconsommateurs,
- les communautés de macroconsommateurs, dont on isole,
- les communautés humaines car l'action de l'homme ne se situe plus seulement au niveau de la macroconsommation mais aussi en tant que facteur du milieu influant sur les autres espèces de façon significative.

Une représentation schématique de la biogéocénose est donnée dans la figure 1.

L'étude des biogéocénoses est envisagée selon deux approches complémentaires, l'une est qualifiée de structurale, elle est fondée sur l'autécologie et la synécologie, l'autre est qualifiée de fonctionnelle et regroupe les études cénologiques.

Les études cénologiques visent à analyser l'écosystème propre à chaque biocénose en déterminant les bilans de fonctionnement pour les différents éléments de la biogéocénose (LAMOTTE et BOURLIERE, 1967). La complexité des écosystèmes oblige généralement les chercheurs à travailler sur des unités fonctionnelles relativement simples (niveaux trophiques par exemple). La précision des résultats obtenus ne cessent de s'améliorer. Le but ultime est de connaître l'importance de chaque espèce au sein de la biogéocénose. Ces travaux présentent un grand intérêt théorique dont on est en droit d'attendre d'importantes retombées pratiques à moyen et à long termes. Aussi, ce type d'approche mérite-t-il d'être poursuivi car d'excellents résultats ont déjà été obtenus sur ce thème (DUVIGNEAUD, 1974, LAMOTTE et BOURLIERE, 1978). Il correspond cependant à une intégration écologique actuellement sans rapport direct avec le niveau de compréhension requis pour les aménagements à court terme. C'est pourquoi l'accent est mis sur d'autres formes d'approche écologique pour introduire la notion d'écologie opérationnelle.

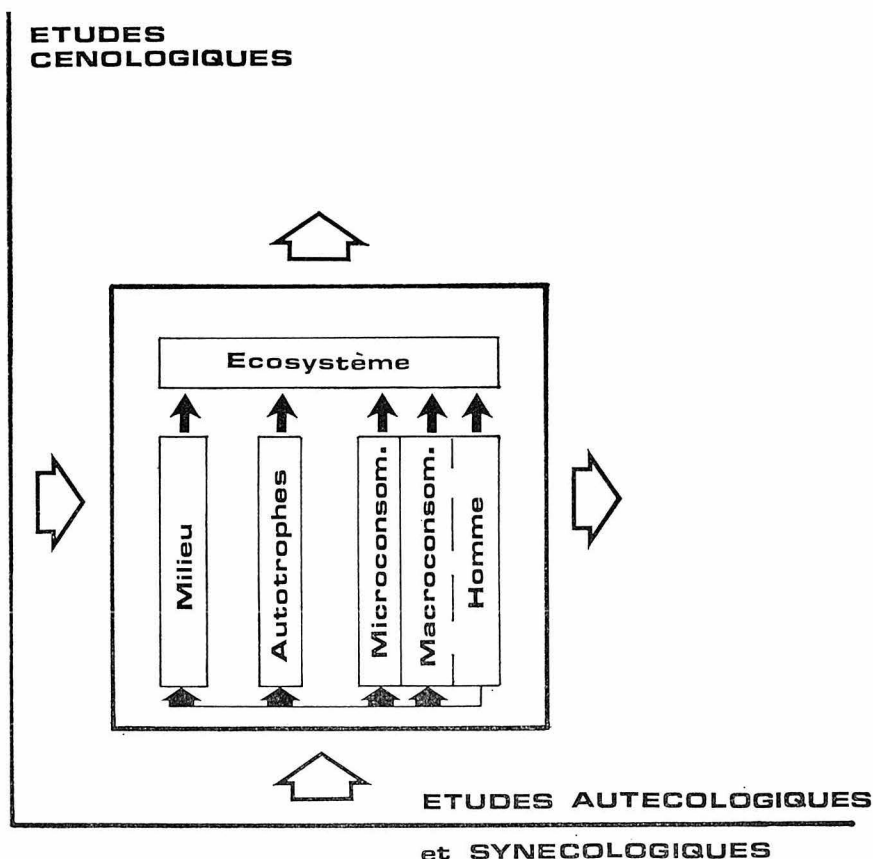


Figure 1. — Schéma d'une biogéocénose.



Les études structurales consistent à dissocier la biogéocénose en une série de communautés élémentaires de même appartenance systématique : associations végétales, communautés ornithologiques, communautés acridiennes... Dans chaque communauté, le comportement écologique des différentes espèces est alors analysé, l'ensemble des recherches devant permettre de reconstituer la structure générale d'une biogéocénose (ou d'une communauté constituante) sur la base du tempérament écologique et de la dynamique des populations des espèces participantes. L'étude structurale permet de choisir le niveau d'investigation et d'intégration des données obtenues en fonction des résultats escomptés. Le choix des dimensions et du nombre des biogéocénoses retenues pour l'étude est un facteur décisif de réussite. Comme les conditions de généralisation sont clairement définies à partir d'un échantillonnage choisi en conséquence, elle s'adapte bien à une étude régionale. Les limites des biogéocénoses sont établies en s'appuyant sur l'existence de solutions de continuité naturelles. Pour mettre en évidence des entités écologiques de base, la méthode la plus rapide consiste à identifier les groupements végétaux dont on sait qu'ils reflètent par leur physionomie et leur composition floristique l'ensemble des conditions écologiques qu'ils subissent. MOLINIER et VIGNES (1971) proposent l'écobiocénose comme « écosystème unité ». Elle est définie sur la base des limites des individus d'associations végétales. A l'usage, il semble préférable d'adopter une stratégie plus souple adaptée à chaque objet d'étude en retenant la notion de biotope dont la limite correspond à celle d'une ou de plusieurs associations végétales (VERDIER et QUEZEL, 1951). L'utilisation systématique de la délimitation des biogéocénoses à partir des limites des individus d'associations donne une grande sécurité aux généralisations nécessaires des observations car les facteurs de temps et d'espace sont pris en considération.

## *1.2. Notions d'environnement et d'environné.*

L'environnement désigne l'ensemble des conditions écologiques qui agissent sur l'organisme : espèce végétale, espèce animale ou communautés d'espèces. Ce concept est relatif : l'environnement ne prend de signification que par rapport à l'organisme environné. A la limite, sans organisme environné, il n'y a pas d'environnement (GUINOCHET, 1973). Il y a seulement un milieu décrit sur la base de critères arbitrairement choisis, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques. Chaque organisme vit dans un environnement qui lui est particulier. Pour prendre un exemple, l'environnement d'un acridien est différent de l'environnement de l'association végétale dans laquelle il évolue. Les renseignements sur les biogéocénoses obtenus par l'étude des groupements végétaux doivent donc être adaptés et complétés pour décrire l'environnement de l'acridien mais ils constituent une base de travail homogène.

L'environnement d'un organisme est la résultante de plusieurs facteurs dont les conditions évoluent dans le temps et dans l'espace. Ces facteurs peuvent être regroupés en deux composantes fondamentales :

- les composantes statiques,
- les composantes dynamiques (DURANTON, 1975, 1976 a).

Les composantes statiques correspondent aux conditions stables, ou à évolution lente, de l'environnement. Pour une association végétale, ce pourraient être le type de sol et le climat ; pour un animal phytophage, ce serait la répartition des groupements végétaux. Il faut insister sur la notion de stabilité relative de ces composantes qui intègrent à moyen et à long termes les variations instantanées de l'environnement. Ces conditions historiques, encore appelées conditions intégrantes, sont ressenties au niveau des espèces puisqu'elles en déterminent la répartition.

Les composantes dynamiques désignent les conditions fluctuantes de l'environnement, celles qui sont suffisamment instables pour être ressenties instantanément au niveau des individus. Elles ont des effets immédiats sur la dynamique des populations (LAUNOIS, 1974 a, 1974 b) et, en dernière analyse, ce sont essentiellement des conditions éco-météorologiques. Leurs résultantes historiques sont intégrées au niveau des espèces.

Chaque année, une mosaïque spatio-temporelle de conditions dynamiques surimposées aux conditions statiques se réalise sur l'aire de distribution de chaque espèce. Cette évolution saisonnière de l'environnement est particulièrement importante en zone tropicale semi-aride en raison de l'alternance de la saison sèche et de la saison des pluies, et ceci d'autant plus que la pluviosité est plus irrégulière. L'organisme doit tirer partie de cette mosaïque pour assurer son existence et la pérennité de l'espèce. Certaines espèces se déplacent, d'autres ont des formes de résistance leur permettant de survivre dans des conditions difficiles (LECOQ, 1977).

Une étude efficace de l'environnement doit tenir compte des deux composantes dont il vient d'être question. Les différents types d'environnements peuvent être identifiés et caractérisés en utilisant les groupements végétaux comme éléments de référence (REY, 1967) reflétant les conditions statiques. Leur description est précisée par les études fréquentielles des variations interannuelles des conditions dynamiques.

### *1.3. Recensement des types d'environnements par l'étude des groupements végétaux.*

La physionomie et surtout la composition floristique des groupements végétaux sont liées aux conditions statiques de l'environnement. A chaque groupement végétal correspond une combinaison particulière de ces conditions qui peut être assimilée à un type d'environnement. Inversement, chaque type d'environnement est caractérisé par un groupement végétal particulier (GUINOCHET, 1973).

Un groupement végétal est un ensemble d'espèces réunies au sein d'une structure homogène. Le groupement végétal revêt une signification différente selon le critère choisi pour définir l'homogénéité. C'est pourquoi, on est amené à distinguer les formations végétales des associations. Les formations végétales sont des groupements physionomiques homogènes, alors que les associations végétales sont des groupements floristiques homogènes. Les associations permettent une analyse plus précise que les formations car des associations totalement différentes peuvent avoir des physionomies similaires et de ce fait appartenir à la même formation. La composition floristique d'une savane varie en fonction de son origine géographique. De plus, au sein d'une même formation peuvent coexister des associations différentes constituant des phytocénoses particulières en fonction des espèces végétales qui la composent. Ainsi, les phytocénoses des formations de savane arborée peuvent être formées de plusieurs associations :

- une association héliophile ligneuse,
- une association héliophile herbeuse,
- une association sciaphile,
- une association termitophile éventuellement,
- et plusieurs associations cryptogamiques.

Le groupement floristique élémentaire est l'association. Toutes les associations végétales n'ont pas la même signification écologique selon qu'elles sont extensives ou spécialisées (DURANTON, 1975).

Les associations extensives occupent des surfaces importantes et sont en équilibre écologique avec les conditions de méso-environnement. Elles permettent de caractériser et de localiser les types d'environnements régionaux.

Les associations spécialisées couvrent généralement des surfaces restreintes. Elles ne reçoivent qu'indirectement l'impact des conditions écologiques régionales car elles dépendent des conditions particulières réalisées localement : hygrotrophie, affleurement rocheux... Leur identification conduit à apprécier la diversité des types d'environnement au sein d'une région.

La chorologie des associations extensives permet donc de localiser les zones soumises au même méso-environnement. Les surfaces écologiquement homogènes sont appelées des régions naturelles. Leur complexité écologique est aisément décelée par l'inventaire des associations spécialisées qui s'y développent.

La simple cartographie des associations végétales permet d'apprécier qualitativement et quantitativement la diversité des types d'environnements régionaux. Les unités phytosociologiques (syntaxons) de rang supérieur déterminent le regroupement des régions naturelles en domaines floristico-écologiques. En Afrique de l'Ouest, le découpage en grands domaines éco-botaniques actuellement effectué sur des bases essentiellement phy-

sionomiques (CHEVALLIER, 1900, AUBREVILLE, 1949) devrait à présent être précisé par l'étude floristique systématique des groupements afin de mettre en évidence les particularités des différentes régions naturelles de la zone.

L'analyse phytosociologique du tapis végétal permet de dresser rapidement l'inventaire des types d'environnements d'un territoire en se fondant sur l'étude de la composition floristique des groupements en place. Cette approche objective a le mérite d'être accessible avec peu de moyens matériels.

La méthode préconisée pour individualiser les types d'environnements étant décrite, il reste à les identifier en précisant les conditions écologiques relatives à chacun d'eux.

#### *1.4. Identification des types d'environnements.*

En premier lieu, il convient de reporter sur une carte dont l'échelle est appropriée les limites des surfaces colonisées par les différents groupements végétaux reconnus à la suite de l'analyse phytosociologique. Chaque groupement est situé dans l'espace (localisation, superficie concernée). C'est la première phase d'identification.

En second lieu, toutes les données écologiques sur l'environnement, disponibles dans la bibliographie, sont regroupées en facteurs écologiques complexes (climat, hydrologie, pédologie, anthropisation...) et sont cartographiées séparément à la même échelle que les groupements végétaux.

En procédant ainsi, l'ensemble des connaissances disponibles est susceptible d'être exploité par simple surimposition des cartes pour dégager les caractéristiques communes ou discriminantes des différents types d'environnements individualisés.

Le nombre de critères pris en considération doit être suffisant pour caractériser sans ambiguïté chaque région naturelle. A la limite, une clé d'identification de type dichotomique soulignera les points communs comme les différences et permettra à un profane de reconnaître chaque type d'environnement.

Ces données générales servent de base pour cerner l'environnement de chaque espèce et dégager leur tempérament écologique.

Ce bilan initial a le mérite d'intégrer l'ensemble des connaissances acquises précédemment dans des domaines très variés et d'y ajouter les observations récentes. Il oblige le chercheur à prospecter de façon homogène chaque région, les imprécisions ou les lacunes sont immanquablement repérées au moment de l'établissement des cartes.

A partir de cette étude générale, il est possible de structurer un plan de recherches destiné à préciser les caractéristiques d'une région naturelle, en principe celle qui fera l'objet d'un aménagement, en sachant dans quel contexte le sujet est traité. Les types d'environnements relatifs aux



groupements végétaux serviront de base, en tout état de cause, à l'étude des environnements particuliers des différents organismes concernés. On peut alors avoir recours à des méthodes plus sophistiquées qui fourniront des informations très précises pour les cas les plus importants (LONG, 1974, 1975).

## 2. ANALYSE ECOLOGIQUE : L'OBSERVATION EXPERIMENTALE.

### 2.1. *Choix de l'échelle d'étude.*

Aucun relevé écologique ne peut être entrepris si dès le départ l'échelle d'étude n'est pas clairement définie (LEMEE, 1978). Cette option fondamentale doit tenir compte à la fois des objectifs à atteindre et des moyens mis en œuvre. Ce choix initial est très important car il conditionne toutes les méthodes d'approche concertée. L'échelle d'étude doit permettre une approche globale des problèmes en rapport avec l'utilisation que l'on pense faire des solutions en se plaçant aussi près que possible des réalités locales sans pour autant s'éparpiller dans un domaine d'anecdotes écologiques. Le compromis se fait en fonction de l'exactitude attendue des résultats et non en fonction d'une précision apparente souvent illusoire.

Les études écologiques se conçoivent à trois échelles :

- la micro-échelle,
- la méso-échelle,
- la macro-échelle.

Ces concepts ont une valeur relative, ils dépendent de l'objet d'étude.

La micro-échelle est adaptée à l'étude au niveau de l'individu. La précision obtenue est très grande mais l'échantillonnage ne porte généralement pas sur un nombre d'individus suffisant pour permettre des extrapolations correctes. A partir de données très précises, on peut donc parfaitement formuler des conclusions erronées lorsqu'elles sont replacées dans un contexte plus général. La valeur finale des résultats dépend des possibilités réelles de généralisation.

La méso-échelle correspond à l'étude au niveau des populations. Bien entendu, la précision des mesures est moins grande mais les résultats ont une portée plus générale.

La macro-échelle se place au niveau de l'ensemble des populations appartenant à une même espèce ou à une même entité écologique. En général, ce type d'approche est insuffisant s'il n'est pas étayé par de solides investigations à la méso-échelle.

A chacune de ces échelles correspond un niveau d'environnement particulier et des méthodes d'approche adéquates. Elles permettent d'atteindre des seuils différents de compréhension des phénomènes souvent

imbriqués les uns dans les autres. En ce qui concerne les problèmes d'aménagement, l'écologie opérationnelle la plus rentable à court terme se situe à la méso-échelle. La macro-échelle sert à replacer les résultats dans un contexte plus général et la micro-échelle concourt à élucider quelques cas particuliers comme l'étude comportementale de certains ravageurs ou les phénomènes locaux de compensation de facteurs.

En première approximation, on peut donc conclure que l'essentiel des études en Ecologie opérationnelle se fait à la méso-échelle. Des compléments éventuels sont apportés par des études à macro-échelle et à micro-échelle lorsque les objectifs le justifient.

## *2.2. Notion d'observation écologique expérimentale.*

Pour qui sait observer, la nature constitue un vaste laboratoire où se trouvent réalisées en vraie grandeur des expériences écologiques significatives. Le chercheur doit donc adapter ses méthodes d'investigation au matériel qu'il étudie. Dans cette optique, les techniques d'échantillonnage au hasard sont le plus souvent à proscrire au bénéfice d'un échantillonnage opportuniste, c'est-à-dire exploitant des situations écologiques naturelles particulières (LAMOTTE et BOURLIERE, 1969, GOUNOT, 1969). Tous les cas observés sont considérés comme autant de situations privilégiées qui doivent permettre l'interprétation de situations plus générales. Ainsi, par l'étude d'une population de ravageurs en un lieu donné, on peut en déduire des faits susceptibles d'expliquer ce qui se passe à l'échelle du continent. Ceci a été prouvé à plusieurs reprises pour les acridiens (LAUNOIS, 1973).

Chaque année, les composantes statiques et dynamiques de l'environnement se combinent pour constituer une mosaïque spatio-temporelle plus ou moins favorable à chaque espèce. La démarche scientifique consiste à observer le comportement de l'espèce en présence de situations écologiques très diverses réalisées simultanément ou consécutivement dans son aire de distribution afin d'obtenir le plus grand nombre d'informations possible pour dégager le tempérament écologique de l'espèce.

L'observation écologique expérimentale consiste en l'étude simultanée de l'environnement et des populations en place à un moment déterminé, en décrivant l'environnement avec des caractères significatifs pour chaque espèce. Une observation complète tient compte de l'équilibre précaire observé dans le présent, et si possible du passé récent pour juger de la disponibilité des individus. Toutes les observations réalisées dans des situations écologiques aussi différentes que possible seront ensuite confrontées entre elles afin de dégager les corrélations positives et négatives. Le traitement des données peut se faire en procédant par analogie et recoupement. Les techniques nouvelles d'analyse des données (analyse factorielle des correspondances, analyse en composantes principales, analyse discriminante, méthodes de classement automatique...) sont

des outils précieux car elles permettent de dégager le profil du phénomène à partir de faits d'observation.

L'observation écologique expérimentale suppose que l'on soit capable de décrire l'environnement sur la base de facteurs écologiques complexes ayant une forte probabilité d'agir sur les espèces végétales ou animales et qu'un certain équilibre soit temporairement réalisé entre le milieu et l'être vivant (GODRON et coll. 1968, DURANTON, 1976). Pour limiter le nombre d'observations, les situations naturelles paraissant les plus simples doivent être étudiées en priorité, celles qui sont les plus complexes ou qui ont un caractère transitionnel sont réservées aux vérifications des conclusions obtenues à la suite de l'examen de la première série de mesures.

L'examen systématique des situations naturelles instantanées sous un angle expérimental permet de définir rapidement le tempérament et le comportement des espèces sur une base qualitative en première approche, puis sur une base semi-quantitative par pondération de l'effet des facteurs agissants (LAUNOIS, 1974, 1977).

Dans quelques cas, il est avantageux de créer l'expérience naturelle en intervenant pour simplifier le problème. On peut par exemple ouvrir une nouvelle clairière dans une forêt ou installer un milieu irrigué dans une zone aride pour établir la vitesse de colonisation des prédateurs potentiels ou encore marquer les individus pour évaluer les budgets-temps journaliers (CHARLES-DOMINIQUE, 1978). L'intervention doit toujours être la plus discrète possible, la forme la plus élégante et les résultats confrontés à ceux issus de contre-épreuves. En général, les conclusions sont à dégager avec beaucoup de prudence car les cas observés sont en nombre restreint. De plus, des phénomènes secondaires sont toujours possibles, les expériences réalisables en vraie grandeur étant exceptionnelles. Cependant, l'expérimentation en pleine nature est une arme puissamment résolutive pour qui sait l'utiliser à bon escient. Il y a donc lieu de s'en servir en complément des résultats obtenus par les observations écologiques expérimentales sans intervention.

### 2.3. Méthodes d'investigation.

Les méthodes d'investigation écologique sont à adapter strictement à l'écologie de chaque objet d'étude. Après le choix de l'échelle, la seconde activité prioritaire de recherches est de découvrir ou de mettre au point le plus rapidement possible les méthodes d'étude les plus performantes et de choisir parmi celles-ci, celles dont le rapport coût/performance est le meilleur. Aucun *a priori* ne peut permettre de décider si telle méthode complexe donnera plus de résultats que telle autre plus simple, seuls les faits doivent décider du choix final. Le critère fondamental devant guider la recherche méthodologique est l'obtention du maximum de résultats exploitables dans le minimum de temps avec le minimum d'efforts.

Très généralement, les méthodes d'investigation sont différenciées en études intensives et en études extensives ; les deux types d'approche sont complémentaires et concernent tous les deux l'environnement et l'environné.

Les études intensives sont effectuées sur un nombre restreint de sites écologiquement complémentaires. L'implantation des sites dépend des zones écoclimatiques représentées dans l'aire d'étude et de l'importance des gradients locaux, en particulier du gradient hydrique. Sur les parcelles retenues comme points d'échantillonnage, la dynamique des populations est suivie à intervalles de temps réguliers pour être corrélée à l'évolution locale de l'environnement. Il faut à ce sujet souligner l'importance des études phénologiques (DURANTON, 1976 b, 1976 c). Une comparaison du comportement des espèces est faite ensuite entre les résultats obtenus dans les différents sites.

Les études extensives sont effectuées à des périodes critiques de l'année où par exemple la diversité spécifique atteint un minimum ou un maximum. Elles sont réalisées dans des temps relativement courts et concernent des surfaces très importantes. La priorité est donnée au facteur espace. En principe, ce type d'étude permet de préciser les conditions de généralisation des observations intensives. Il peut aussi provoquer un réexamen de l'implantation des sites d'études intensives dans le but d'améliorer la représentativité des biotopes retenus lorsque ceux-ci ne sont pas strictement inféodés aux zones aménagées.

L'exploitation des données se fait dans un esprit résolument statistique. Chaque événement est envisagé et décrit en terme de probabilité et non en terme de moyenne (BENZECRI, 1973), l'organisme devant s'accommoder des conditions réelles fluctuantes et non de conditions artificiellement pondérées. C'est pourquoi la comparaison progressive cas par cas est de loin plus résolutive que la réunion des cas particuliers en un cas moyen supposé représentatif. Ceci n'empêche pas de dégager le profil général d'un phénomène par comparaisons successives à condition de pouvoir décrire aussi toutes les variations connues ou prévisibles. En aucun cas, il n'est recommandé de tenter d'intégrer des observations à un modèle théorique en introduisant des paramètres correcteurs successifs. La meilleure démarche d'investigation est fondée sur l'observation écologique qui conduit à une hypothèse validée par d'autres observations réalisées sur le terrain. Plusieurs cycles successifs observation - étude réflexive - hypothèse confirmée ou infirmée sont parfois nécessaires pour comprendre un phénomène. On peut juger du degré de compréhension d'un événement lorsque l'on est capable de le prévoir avec un coefficient de sécurité supérieur à 80 % en considérant les éléments entrant dans la description du contexte écologique, environné compris.

La combinaison des études intensives et des études extensives conduit rapidement à la mise en évidence des facteurs et des conditions écolo-



giques discriminants pour l'organisme étudié. Il devient alors possible de décrire objectivement ce qui doit être considéré comme élément favorable ou défavorable à l'espèce ou à la communauté d'espèces. A ce niveau, les facteurs écologiques étudiés sont ordinairement complexes même si l'expression de ceux-ci est simple. Des études plus précises dont il convient d'établir l'opportunité avant de les entreprendre peuvent conduire à décomposer les facteurs complexes en facteurs plus simples (facteurs élémentaires) mais ce n'est généralement pas nécessaire pour une étude à méso-échelle (DURANTON, 1976 a).

Après la mise en évidence des facteurs écologiques discriminants pour l'espèce considérée, il convient d'examiner quelles sont les voies les plus efficaces pour élaborer un système écologique permettant de comprendre en quoi l'équilibre écologique existant sera perturbé par les aménagements et peut-être de préciser les niveaux d'intervention humaine pour remédier aux inconvénients prévisibles.

### 3. SYNTHESE ECOLOGIQUE : THEORIE DE L'OPTIMUM ECOLOGIQUE ET DU DOMAINE DE SURVIE DE L'ESPECE.

Une synthèse écologique consiste en une tentative d'intégration de toutes les données disponibles en un ensemble cohérent de type discursif conduisant à une interprétation correcte des situations naturelles et à une prévision statistique du comportement de l'espèce étudiée dans un environnement particulier.

#### 3.1. Généralités.

Tout être vivant exprime le maximum de ses potentialités biologiques dans des circonstances écologiques précises (PAULIAN, 1948). La réalisation des conditions de milieux réputées très favorables correspond à l'optimum de l'espèce. L'optimum écologique ne se définit pas par une valeur unique des différents facteurs écologiques que subit l'espèce. Il ne peut être atteint que si aucun des facteurs de l'environnement n'est limitant, la seule restriction au développement et à la croissance étant alors d'ordre génétique (limite endogène) (LE BERRE, 1976).

Cette notion est en fait un peu théorique car il y a souvent plusieurs façons de réaliser l'optimum écologique par suite des compensations de facteurs (DAJOZ, 1975). Par ailleurs, lorsque l'environnement a des valeurs qui deviennent proches de l'optimum, l'espèce animale parvient souvent à l'atteindre en exploitant activement le biotope (adaptation comportementale). Dans l'optique de cette étude, l'optimum écologique des espèces est considéré pratiquement réalisé lorsqu'aucun des facteurs clés n'est limitant à la méso-échelle. Cette combinaison de facteurs réputés favorables se diversifie à la micro-échelle en un certain nombre de micro-environnements au niveau desquels l'espèce trouve effectivement les conditions requises pour atteindre ses limites biologiques supé-

rieures de vitesse de développement et les limites intrinsèques de survie. Pour certaines espèces, il y a lieu de considérer dans la définition de leur optimum écologique, la présence ou l'absence des facteurs de destruction non climatiques (maladies, parasites, prédateurs...).

A partir du moment où l'un des facteurs du milieu n'atteint plus la valeur optimale pour l'espèce, le développement est moins rapide et la mortalité plus forte, ceci d'autant plus que le facteur limitant est plus marqué ou que le nombre de facteurs limitants est grand (limite exogène au développement de l'espèce). Le domaine de survie inclut l'optimum écologique et toutes les conditions compatibles avec la survie d'une fraction de population. Lorsque les facteurs limitants deviennent contraignants au point que la pérennité de l'espèce ne peut plus être assurée (rapport enfants sur parents inférieur à 1), les conditions écologiques sont interprétées comme étant incompatibles avec les tolérances de cette espèce.

Pour chaque espèce, il existe un optimum écologique et un domaine de survie spécifique. Les définir sur un plan qualitatif, c'est être en mesure d'apprécier la valeur de l'environnement pour l'espèce animale ou végétale, c'est exprimer ce qui doit être compris lorsque l'on parle de conditions favorables ou défavorables, d'événements efficaces ou indifférents. Toute la difficulté réside dans la façon d'obtenir une définition objective et dans la formulation de celle-ci pour qu'elle soit aisément utilisable. Le choix de la précision est de nouveau posé et de lui dépend la mise en pratique correcte des principes méthodologiques qui conduisent à une synthèse écologique.

### 3.2. *Principes méthodologiques.*

Pour appliquer avec profit la théorie de l'optimum écologique et du domaine de survie à des espèces d'importance économique, comme les ravageurs des cultures par exemple, il convient de procéder par étapes successives.

Les principes directeurs sont les suivants (LAUNOIS, 1974 a) :

1. Etude de l'optimum écologique et du domaine de survie de l'espèce. Il s'agit de donner des définitions aussi simples que possible à ces deux concepts. Pour cela, il est nécessaire de connaître la vulnérabilité de l'espèce et les formes de résistance à l'environnement qu'elle développe dans certaines conditions : diapause embryonnaire, diapause imaginale, vie ralentie, déplacements...

2. Chaque type d'environnement pouvant être objectivement qualifié de favorable ou de défavorable en introduisant si nécessaire d'autres nuances (optimales, compatibles, avec les seuils de fiabilité), une étude temporo-spatiale de l'évolution de l'environnement permet de décrire le milieu selon sa signification pour l'espèce. Les potentialités instantanées

de son aire d'habitat sont donc établies sans ambiguïté et sans interprétation subjective.

3. Dans la mesure où les réponses de l'espèce sont connues, quantifiées ou semi-quantifiées (vitesse de développement de chaque stade, importance des formes de dissémination...) en présence d'un environnement lui-même caractérisé selon les potentialités qu'il présente, on peut entreprendre une reconstitution du cycle biologique de l'espèce dans son aire d'habitat. Cette tentative de modélisation écologique peut être validée par confrontation des déductions avec les situations passées ou présentes, ou encore par une confrontation bibliographique. Lorsque le modèle est reconnu conforme à la réalité, et pour cela il a pu être nécessaire d'introduire d'autres facteurs, la simulation opérationnelle devient possible.

4. Par simulation opérationnelle, on entend la reconstitution du comportement de l'espèce mise en présence d'un environnement défini qui peut d'ailleurs être imaginaire sous réserve qu'il soit écologiquement réalisable. Cette méthode permet de prévoir statistiquement les réponses possibles de l'espèce en cas de modifications du milieu consécutives à l'aménagement envisagé.

### *3.3. Analyse de l'environnement en facteurs discriminants pour l'espèce.*

La mise en évidence de facteurs écologiques discriminants pour une espèce ne peut se faire que si de nombreuses observations existent sur les réactions de celle-ci aux modifications de son environnement. On doit donc exploiter en priorité les études intensives et les études extensives dont il a été question plus haut. Dans certaines circonstances, les archives sont trop pauvres pour être utilisables sur un plan statistique. Il est parfois possible de remédier en partie à cette carence en réunissant les spécialistes de la surveillance et de la lutte contre l'espèce considérée et en exploitant leurs connaissances empiriques. Pour cela, il convient d'organiser des confrontations, et par concertation de dégager peu à peu le modèle semi-quantifié sur lequel l'unanimité se fait. Ce procédé ne peut fournir évidemment que des hypothèses de travail, hypothèses qui pourront cependant être confirmées par la suite en vérifiant quelques-unes des conclusions qu'elles auront permis d'atteindre. Pour empirique qu'il soit, ce sondage préliminaire ne doit pas être exclu des recherches de type opérationnel. L'esprit humain est capable d'intégrer inconsciemment une multitude de paramètres qui permettent peu à peu à l'homme expérimenté de prévoir le comportement de telle ou telle espèce sans pour autant être capable d'expliquer clairement les raisons de son choix. Le « flair » dont font état les prospecteurs confirmés n'est certes pas infallible mais son efficacité est suffisamment prouvée pour que les scientifiques le prennent en considération afin d'élaborer des hypothèses de travail. Des erreurs grossières d'échantillonnage des principaux rava-

geurs pourraient être évitées par des enquêtes préliminaires auprès des populations. Les prospecteurs anti-acridiens sont capables de reconnaître les sites où vit chaque espèce d'un simple coup d'œil, surprenant ainsi le profane. En fait, ils considèrent implicitement différents facteurs qu'ils pondèrent comme la hauteur de la végétation, le recouvrement global, le recouvrement basal, la densité des arbres, l'état de turgescence des plantes, la structure et la texture du sol... A partir du moment où l'on arrive à définir clairement les critères significatifs fondant le diagnostic, les connaissances deviennent transmissibles.

Pour caractériser à la méso-échelle l'environnement d'une espèce (d'un ravageur par exemple), 5 à 10 facteurs complexes suffisent généralement, 10 paraît même être le maximum (HOLLING, 1963-1964-1965-1966). Ce peuvent être les facteurs photopériodique, thermique, hydrique, de végétation, de disponibilité de l'espèce ou d'accessibilité du milieu. La mise en évidence des facteurs discriminants est déduite de la confrontation entre elles des différentes observations écologiques expérimentales réalisées. Elle peut être faite manuellement ou par ordinateur. Il est ensuite nécessaire de hiérarchiser l'importance de ces facteurs par rapprochement conditionnel : le facteur 2 ne peut agir que si le facteur 1 est favorable et ainsi de suite. Cette gradation dépend de la sensibilité particulière de chaque espèce mais on doit remarquer que bien souvent les conditions sont corrélées entre elles (conditions éco-climatiques liées à la position du front inter-tropical par exemple).

Les conclusions de ces études analogiques sont toujours à vérifier sur un certain nombre de situations réelles pour établir si les facteurs écologiques considérés sont en nombre suffisant pour rendre compte de la nature des événements biologiques observés, avec une sécurité de pronostic satisfaisante.

### *3.4. Etablissement des tables de correspondance entre l'environnement et l'environné.*

Jusqu'à présent, l'étude a été orientée vers la définition des critères à prendre en considération pour caractériser chaque environnement. Il reste à rechercher les caractères au niveau de l'espèce qui doivent être examinés pour juger de l'effet du milieu. En général, les développements rapides accompagnés d'une mortalité faible sont considérés comme étant très favorables à l'espèce. En pratique, il y a lieu de nuancer et d'adapter le modèle à l'objet d'étude. Toutefois, on peut préconiser d'utiliser un indice de réussite tenant compte globalement du facteur temps et du taux de survie si l'on désire avoir une appréciation générale des réponses de l'espèce. A chaque fois que cela est possible, les tables de correspondance entre l'environnement et l'environné doivent être établies en décomposant les réponses de l'espèce en fonction des principaux stades de développement. Pour une plante, ce seront la germination, les



repousses, la floraison, la fructification, la dissémination des graines... Pour un animal, la naissance, le développement des jeunes, la maturité sexuelle, la mort...

En pratique, la première opération consiste à établir la liste des combinaisons de facteurs discriminants écologiquement réalisables. Pour éviter un trop grand nombre de possibilités, on sélectionne celles qui paraissent très significatives (création de classes) en fonction des seuils de réponses de l'espèce. Ce premier inventaire étant fait, il reste à codifier les types de réponse de l'espèce en présence de chaque environnement décrit. Dans la majorité des cas, on se contente de reproduire les résultats des observations expérimentales. Lorsque des situations n'ont pas été observées, il est possible d'intrapoler les réponses de l'espèce sous réserve de la connaître suffisamment. Il sera légitime de revenir sur ces hypothèses si les résultats obtenus ne sont pas conformes à la réalité.

L'abaque établie doit tenir compte de toutes les situations écologiques que rencontre l'espèce dans son aire de distribution et en lisière de celle-ci. L'échelle de temps considérée peut être mensuelle, décadaire ou journalière selon le sujet d'étude.

### *3.5. Modélisation et simulation opérationnelle.*

La modélisation écologique est destinée à représenter schématiquement les réponses de l'espèce aux variations de son environnement sur l'ensemble de son aire d'habitat. Graphiquement, on peut procéder de la façon suivante : sur son axe, on porte le facteur temps couvrant par exemple la durée de l'année, et sur l'autre axe, le facteur espace décrit en longitude et en latitude. A chaque point de rencontre espace-temps, se trouve réalisé un environnement particulier qui est défini par une troisième dimension regroupant les valeurs des différents facteurs discriminants.

S'il s'agit d'une étude statistique, les éléments descriptifs peuvent être extraits d'ouvrages généraux. Pour prévoir la réponse de l'espèce, il suffit de prendre l'abaque créée précédemment et d'examiner les correspondances établies. On est donc en mesure de connaître les réponses instantanées de l'espèce sur l'ensemble de son aire.

En zone tropicale semi-aride, le point de départ de l'étude se situe très généralement au début de la saison des pluies. Le premier événement consécutif à la réalisation des conditions objectivement définies comme favorables dépend de l'état auquel se trouve l'espèce. De toute façon, on observe une reprise ou au moins une accélération de développement. A partir de ce moment, la reconstitution progressive du cycle biologique de l'espèce, des déplacements éventuels, du nombre de générations... est possible (LAUNOIS, 1974 a - 1974 b, LECOQ, 1974). On peut même parvenir à redéfinir le domaine d'existence de

l'espèce lorsque l'on connaît la nature des barrières écologiques qui s'opposent à sa dispersion. Ce résultat est généralement facile à vérifier sur la base des signalisations passées. Il y a là un moyen de contrôle de la conformité du modèle à la réalité.

Lorsque l'accumulation des preuves directes et indirectes permet de considérer le modèle proposé comme satisfaisant, on procède à une simulation opérationnelle. Par simulation, on désigne la reconstitution théorique de types d'environnements déterminés et par opérationnelle le caractère pratique de ces opérations.

Le plus souvent, on commence par établir le schéma général d'évolution saisonnière des populations de l'espèce sur l'ensemble de son aire de distribution pour une année climatologiquement « normale » (au sens statistique). Les grandes caractéristiques de la dynamique des populations sont dégagées. A chaque fois que cela est possible, une confrontation bibliographique est effectuée pour vérifier si aucun fait connu ne s'oppose au schéma général.

Ensuite, les variations interannuelles sont examinées sur l'échelle de temps la plus longue possible. Les années dites exceptionnelles sont toujours très intéressantes. Certaines d'entre elles ont connu des pullulations anormales de ravageurs. Or ce sont ces pullulations qui ont une incidence économique et il est donc essentiel d'en connaître le déterminisme. L'étude des variations interannuelles complète le schéma général et permet de mieux comprendre les variations de l'effectif de l'espèce. Enfin, la simulation opérationnelle peut prévoir les réponses de l'espèce en cas de modifications de son environnement consécutives à un aménagement. Là réside le but final de la modélisation. Elle doit fournir les éléments nécessaires aux écologistes pour prévoir les conséquences des perturbations et protéger les investissements et les productions agricoles escomptées.

### 3.6. *Applications.*

Les applications de la théorie de l'optimum écologique et du domaine de survie sont très importantes en matière de recherche, de formation, de surveillance et de lutte.

#### 3.6.1. Recherche.

Les méthodes utilisées en écologie opérationnelle, même si elles sont appliquées à des sujets classiques, donnent des résultats nouveaux. Elles offrent surtout la possibilité d'avoir une vue synthétique des problèmes écologiques dans de brefs délais. La compréhension globale du fonctionnement d'un écosystème permet de structurer des programmes de recherche bien adaptés aux réalités des zones tropicales semi-arides. Ce mode d'investigation donne le maximum de garantie de résultats à court et moyen termes. Il n'hypothèque en rien l'avenir puisque tous

les faits nouveaux doivent être inclus dans le modèle dans le souci permanent d'améliorer la précision des pronostics. Cette nouvelle forme d'écologie dite opérationnelle, compatible avec toutes les autres, est hautement performante pour une utilisation pratique par les aménagistes préoccupés de rendements agricoles.

### 3.6.2. Formation.

La simplicité même de la démarche intellectuelle qui a conduit à la création de modèles écologiques opérationnels et à l'obtention d'un schéma général rendu significatif par la connaissance de ses variations constitue un ensemble de choix pour la formation. Chaque partie intéressée : recherche, surveillance et lutte, sait dans quel cadre son effort s'insère et de quelle manière son action est profitable à la protection des aménagements de l'agro-système.

### 3.6.3. Surveillance.

La mise en place d'un système de surveillance est une conséquence logique des méthodes discursives de l'écologie opérationnelle. Son implantation, sa structure et les moyens nécessaires sont établis scientifiquement en fonction des objectifs poursuivis. A peu de frais, il est possible de le transformer en un réel système d'avertissement en utilisant la simulation opérationnelle, tout en gardant une liaison étroite avec les services de protection des végétaux et de défense des cultures.

### 3.6.4. Lutte.

Les résultats de l'écologie opérationnelle permettent de dire où, quand et parfois comment il faut lutter contre les fléaux menaçant les aménagements car les stades de vulnérabilité maximale des ravageurs sont mis en évidence. On rejoint à ce niveau les idées de METCALF et LUCKMANN (1975) concernant la planification des opérations de lutte. Le déclenchement d'une opération de lutte se fait après concertation entre chercheurs, prospecteurs et aménagistes.

Ainsi, les applications escomptées sont multiples. On doit cependant remarquer que la prévision à moyen et long termes dépend des prévisions météorologiques dans ces pays tropicaux semi-arides, lesquels ne peuvent actuellement être envisagées avec sécurité au-delà de quelques jours. On touche donc là une limite de pronostic et c'est pourquoi on doit parler d'avertissement et non de prévision.

## 4. APPROCHE CONCERTÉE PLURIDISCIPLINAIRE ET INTERDISCIPLINAIRE.

L'exécution pratique des opérations de type écologie opérationnelle justifie la constitution d'équipes de recherche intégrée consacrant tous

leurs efforts à un problème donné pendant un temps limité (DURANTON, LAUNOIS, LAUNOIS-LUONG, LECOQ, 1977, 1978). Il peut paraître inutile de s'attarder sur le sens du mot équipe, ce terme étant très employé surtout en écologie (KUHNOLTZ-LORDAT, 1956). En présence des faits, il faut bien admettre que des acceptions différentes lui sont données et que celle incluse dans la notion d'écologie opérationnelle présente quelque originalité qu'il n'est pas superflu de souligner.

#### *4.1. Constitution et animation d'une équipe intégrée.*

Une équipe est un ensemble de spécialistes parlant un langage scientifique commun et dont les différents travaux concourent à atteindre des objectifs bien définis. La pluridisciplinarité fait donc bien partie de la structure de base de l'équipe écologique. Cependant, sa structure fonctionnelle est plutôt de type interdisciplinaire, c'est-à-dire que des ponts de circulation des connaissances sont établis entre les disciplines impliquées par les spécialistes, eux-mêmes guidés par un animateur. Le rôle de celui-ci est de maintenir la cohésion de l'équipe en intégrant dans un vaste ensemble tous les travaux spéciaux. L'application de la théorie de l'optimum écologique et du domaine de survie des espèces constitue un thème privilégié de rencontre des chercheurs car chacun d'entre eux sait exactement la place qu'occupent ses travaux dans la synthèse finale et sa contribution aux recherches de ses collègues. L'état d'esprit prévalant dans une équipe intégrée est celui d'une émulation permanente et féconde et non d'une compétition. Tous les membres sont tournés vers un seul et même objectif et doivent d'emblée ajuster leurs travaux au schéma directeur. Dans ces conditions, la synthèse écologique ne présente pas de difficultés car tous les éléments nécessaires ont la forme requise pour s'intégrer dans un ensemble harmonieux et sans lacune. Beaucoup d'écologistes ont tenté la démarche inverse. Ils se sont efforcés de regrouper des études particulières effectuées séparément. Cette démarche est évidemment inefficace, les pièces du puzzle n'étant pas prévues pour s'insérer dans le schéma final. Il ne s'agit pas seulement de se concerter au niveau de la définition des sujets d'étude et de la synthèse des résultats, il faut encore animer pas à pas l'ensemble des travaux du début jusqu'à la fin pour rendre efficiente l'approche transdisciplinaire.

Une équipe correspond à un ensemble fonctionnel créé pour une approche plus efficace de problèmes trop vastes pour être abordés avec succès dans un temps très limité par un seul chercheur. Ceci ne veut pas dire que l'initiative personnelle soit en quoi que ce soit réduite, elle est seulement canalisée vers un objectif commun dont chacun a reconnu l'importance. Une équipe vivante, ce sont d'abord des chercheurs responsables, décidés à apporter une contribution sérieuse à une synthèse écologique avec l'appui permanent d'un animateur dont le rôle est de faciliter l'insertion de leurs travaux dans un ensemble interdisciplinaire.



D'aucuns trouveront ce schéma trop idéalisé pour être opérationnel. L'expérience des neuf dernières années prouve qu'il n'en est rien et que sous réserve de découvrir les hommes aptes à ce type de recherche, une équipe intégrée est une réalité dans l'état actuel des choses. Il y a deux façons de procéder pour créer des équipes en écologie opérationnelle :

— la première consiste à réunir des chercheurs de bonne volonté, ayant suffisamment d'affinités entre eux pour que la cohésion de l'équipe soit assurée d'elle-même. Le coordinateur est simplement un animateur, celui qui guide l'ensemble des travaux vers l'objectif final. Son autorité et sa compétence doivent être reconnues par tous et acceptées sans contrainte, son existence étant justifiée par une répartition nécessaire des tâches. En tant que scientifique, il doit s'intégrer dans tous les domaines abordés pour maintenir des ponts entre les disciplines, susciter des approches concertées, trouver des liens nouveaux entre des domaines jusqu'alors séparés. C'est un généraliste doué d'un esprit de synthèse, une source permanente de réflexion pour les chercheurs. Cette formule permet d'avoir des équipes durables mais elle suppose un choix sévère parmi les candidats autant sur le plan professionnel que sur le plan humain. Seuls les spécialistes « pré-adaptés » à ce type d'intégration peuvent trouver leur place dans un groupe de scientifiques sélectionnés pour exécuter dans un temps limité avec des moyens matériels définis une tâche précise sous la direction d'un responsable. Chaque agent est indispensable au succès final.

— la seconde façon de former des équipes est de procéder par contrainte. C'est la méthode la plus économique et c'est pourquoi elle est souvent pratiquée. Elle consiste à rassembler un certain nombre de spécialistes n'ayant encore jamais travaillé en équipe en orientant leur action par l'entremise d'un directeur d'étude dont le rôle est de canaliser les individualités vers un but commun. Le manque de sélection du départ est compensé par l'autorité du coordinateur qui crée peu à peu un esprit d'équipe à partir d'un potentiel souvent hétérogène. L'efficacité de cet ensemble peut être bonne ou médiocre selon la personnalité de l'animateur. Il imprime sa propre conception écologique aux chercheurs dès le début des opérations pour éviter la dispersion et ce n'est que progressivement qu'il peut se permettre de laisser plus d'initiatives aux agents, ceux-ci ayant été imprégnés des principes méthodologiques de base de travail concerté. De telles équipes peuvent donner de bons résultats, mais leur réussite dépend essentiellement de la personnalité du directeur de projet. Lorsqu'il n'exerce plus son influence, il est fréquent d'assister à une dislocation de l'équipe, les efforts de coordination ayant finalement porté leurs fruits pour une seule opération.

Dans la mesure où la notion d'écologie opérationnelle trouvera les développements qu'elle mérite, il serait utile de prévoir une formation particulière des experts souhaitant participer à ce type d'approche. En

effet, les concepts mis en jeu sont très différents de ceux qui sont habituellement enseignés et une préparation professionnelle et psychologique paraît nécessaire tant au niveau des candidats qu'à celui de leur sélection. Il est clair que certaines personnes ne pourront jamais s'intégrer à ce système qui représentera pour elles une contrainte mais leur travail isolé n'en a pas moins de valeur. Il est même complémentaire à celui envisagé ici. A partir du moment où une formation supplémentaire préadaptera les chercheurs à un travail pluridisciplinaire intégré, il sera possible de former des équipes à structure variable, c'est-à-dire dont la composition dépend du sujet d'étude. Il y aura toujours un noyau central d'experts autour du coordinateur constituant un ensemble très homogène, puis des collaborateurs à divers degrés limités dans le temps et dans l'espace. Ce schéma devrait satisfaire toutes les aptitudes individuelles. Cette formule tiendra compte de l'évolution nécessaire des structures et des étapes transitionnelles qu'il est indispensable de respecter.

## *5.2. Préparation d'une opération « Ecologie opérationnelle ».*

La définition claire des objectifs d'une intervention de type « Ecologie opérationnelle » se fait au cours de réunions de concertation entre les aménagistes et les écologistes avec la participation des organismes bénéficiaires des aménagements. Dans la mesure du possible, les objectifs de l'opération, le temps imparti pour tenter de les atteindre et les moyens financiers engagés sont ajustés dès le départ.

L'intervention « Ecologie opérationnelle » commence par la constitution d'une équipe dont la structure de base est étroitement adaptée au problème posé. Des ajustements sont toujours possibles en cours d'exécution des travaux. Sous la direction du coordinateur, les agents entreprennent une recherche bibliographique exhaustive de ce qui est connu sur le sujet d'étude. Chaque chercheur fait le bilan des connaissances dans son domaine de compétence, en extrait l'essentiel et prépare un ou plusieurs exposés destinés à l'information de ses collègues. Le coordonnateur intervient pour souligner les liens interdisciplinaires entre les exposés et fait les synthèses indispensables. Ce bilan bibliographique préliminaire présente plusieurs avantages. Chaque spécialiste doit fournir l'effort de réflexion nécessaire pour faire une synthèse claire, vivante et attrayante. En s'efforçant de rendre ses connaissances accessibles à d'autres spécialistes, il clarifie pour lui-même ses propres conceptions et définit son vocabulaire. Au niveau de l'équipe, le bénéfice est évident : un fond de connaissances générales est acquis. Le langage commun permet à chacun de poser des questions dans les termes corrects et de comprendre l'insertion de son travail futur dans l'ensemble projeté. En outre, l'animateur trouve l'occasion de stimuler l'esprit de concertation en normalisant les fiches bibliographiques et les glossaires.

Cette première étape étant franchie, l'animateur s'attache à définir avec les chercheurs les moyens matériels à mettre en œuvre. Pour cela,

il prépare un plan d'opérations et fait des propositions de budget dans le cadre de l'enveloppe financière générale prévue pour cette opération. L'approche par les scientifiques des problèmes d'organisation et de financement aidera à en faire des interlocuteurs responsables, sachant composer avec les contraintes matérielles inévitables. Les notions de participation et de responsabilité sont développées. La conception du plan d'opérations est un travail de réflexion. A chaque thème de recherche envisagé, on doit toujours se préoccuper de l'utilisation possible des résultats si ces derniers sont obtenus. En faisant une prospective, une sélection des thèmes fondamentaux est réalisable. Le plan d'opérations reste cependant ouvert à toute adaptation devant permettre un progrès sensible.

Deux types d'études sont menées de front : les premières font appel à des méthodes éprouvées, sans risque d'échec, les secondes sont des innovations. La formule mixte a l'avantage de ne pas limiter le système en restreignant par les méthodes le domaine d'investigation écologique. Les découvertes technologiques les plus récentes sont adaptées sur le terrain si l'opportunité s'en présente, mais elles seront jugées par leurs résultats et mises en compétition avec les techniques anciennes.

#### *4.3. Planification des opérations de mise en valeur agricole.*

L'étude de l'environnement fait l'objet de deux approches : l'une globale, l'autre particulière.

L'approche globale est destinée à mettre en évidence les entités écologiques selon des méthodes précédemment décrites. Les entités consacrées à l'aménagement font l'objet d'une analyse écologique plus approfondie par le biais des observations expérimentales.

L'approche particulière s'intéresse aux projets d'aménagements eux-mêmes et à la nature des perturbations des facteurs de l'environnement qu'ils entraînent à la méso-échelle. Il est nécessaire de ne jamais limiter les investigations écologiques à la zone aménagée mais de la replacer dans l'ensemble des entités naturelles auxquelles elle appartient, ne serait-ce que pour préciser son originalité et ses dépendances : apport de populations de ravageurs, centre d'action météorologique agissant...

Ces études confrontant environnement préexistant et aménagement projeté font apparaître des contraintes. Les contraintes fondamentales sont liées à la localisation des sites : photopériode, régime pluviométrique et thermique... et ne peuvent guère être modifiées. L'aménagiste doit donc les respecter lorsqu'il sélectionne les variétés de plantes cultivées par exemple. Des contraintes supplémentaires peuvent se présenter : manque d'eau, pression sociale... mais on peut espérer en faire évoluer quelques-unes. Par ailleurs, la synthèse écologique réalisée tentera de définir dans une certaine mesure comment la situation va évoluer et en fonction des avertissements, l'aménagiste peut adapter son programme de façon à rentabiliser au maximum les investissements au bénéfice des pays

concernés. La vigilance des écologistes ne doit pas pour autant se relâcher car des problèmes nouveaux non prévisibles *a priori* peuvent apparaître. C'est pourquoi l'Ecologie opérationnelle doit intervenir au niveau de la protection des aménagements, en organisant la surveillance et la lutte sur une base rationnelle. Le nouveau système écologique créé doit atteindre un certain équilibre, quitte à justifier pour cela une intervention humaine périodique. Si cet équilibre ne peut être préservé, les risques d'échec du programme d'aménagement sont très grands.

#### 4.4. *Articulation entre la recherche, la formation et la vulgarisation.*

Dans tout projet lié au développement économique, les demandes de formation sont considérables. Il est fréquemment conseillé aux chercheurs d'assurer cette formation, ce qui est légitime d'un certain point de vue, mais qui présente aussi des inconvénients graves :

- mobilisation des experts pour une tâche à laquelle ils ne sont pas préparés,
- réduction du temps consacré à la recherche,
- non-encadrement à plein temps des stagiaires,
- inadaptation des structures.

Pour protéger le travail des chercheurs et assurer simultanément la formation des agents locaux, il est préconisé d'adjoindre à l'équipe un chargé de formation à vocation d'enseignant, intéressé aux problèmes de recherche, en harmonie intellectuelle parfaite avec les chercheurs et dont le mandat serait de s'occuper à plein temps des stagiaires qui lui sont confiés :

- cours fondamentaux,
- travaux dirigés,
- travaux pratiques,
- conférences et séminaires avec la participation des chercheurs du projet.

Un budget indépendant devrait être consacré pour l'hébergement des stagiaires, les locaux d'enseignement, le matériel pédagogique, les moyens de transport. Le chargé de formation ferait passer progressivement les acquis du projet dans son enseignement et aiderait par son sens pédagogique à la préparation des manuels de vulgarisation. Le nombre d'élèves ne devrait pas dépasser 10 par session, plusieurs sessions étant envisageables chaque année selon les niveaux d'aptitude.

## CONCLUSION GENERALE.

L'écologie est par définition l'étude des relations existant entre un organisme et son environnement, organisme étant pris au sens le plus large. La désignation nouvelle « Ecologie opérationnelle » souligne la volonté de rapprocher écologie et développement en engageant des actions

multidisciplinaires pour procéder à l'analyse scientifique des problèmes d'aménagement ou d'organisation. L'exemple pris ici concerne l'organisation rationnelle des aménagements hydro-agricoles en zone tropicale semi-aride. Un graphe de synthèse des différentes opérations entrant dans le cadre de l'Ecologie opérationnelle constitue la figure 2 (p. 33).

Jusqu'à présent, l'écologiste a été peu intéressé aux plans de mise en valeur agricole. Son rôle principal a été de mettre en évidence les inconvénients des modifications inconsidérées des biogéocénoses et de dresser un bilan des dégâts provoqués par des aménagistes. Cette étape initiale, qualifiée d'examen critique des réalisations économiques, était justifiée par la nécessité de sensibiliser les responsables aux problèmes d'environnement. Le but poursuivi étant considéré comme atteint, il serait à présent judicieux de rapprocher aménagistes et écologistes pour que les erreurs catastrophiques qui ont eu lieu ces dernières décennies ne se reproduisent plus. Il faudrait, de la part de l'écologiste, un changement radical d'attitude, une révision des méthodes d'investigation, une volonté d'être efficace à court et moyen termes pour aboutir à la formulation de recommandations pratiques immédiatement applicables par l'aménagiste. A ce prix, l'Ecologie opérationnelle a une place légitime dans les plans de mise en valeur directement en liaison avec les réalités de l'aménagement du territoire.

D'une façon générale, l'étude de l'environnement et l'analyse des phénomènes doivent être effectuées avec des méthodes aussi performantes que possible, nouvelles si nécessaire en choisissant soigneusement l'échelle de travail afin de ne pas confondre précision et exactitude. Toutes les études analytiques sont menées dans une perspective à court terme de synthèse écologique. Les applications systématiques de la théorie de l'optimum écologique et du domaine de survie sont données avec les principes méthodologiques afférents.

L'ensemble des méthodes d'étude préconisées amène à conclure qu'une nouvelle stratégie de recherches écologiques est possible avec les moyens existants. Sa mise en application dépend certainement plus d'une reconversion des intentions de recherche que d'une possibilité technique ou financière. En effet, l'Ecologie opérationnelle est une science appliquée qui découvre des faits fondamentaux, une discipline qui ménage l'avenir tout en se préoccupant des résultats à court terme. La distinction classique entre le fondamental et l'appliqué est donc sans objet dans ce type d'approche. De plus il est parfaitement possible d'entreprendre des recherches sur le terrain avec la rigueur scientifique des recherches effectuées en laboratoire, ou encore de procéder à des expériences en laboratoire pour interpréter des événements naturels. C'est pourquoi, la deuxième barrière intellectuelle visant à séparer terrain et laboratoire apparaît elle aussi artificielle. La stratégie de recherche préconisée en Ecologie opérationnelle est destinée à acquérir dans des délais courts une



connaissance globale suffisante des relations entre l'environnement et l'environné pour prévoir l'évolution des problèmes en fonction des perturbations apportées aux biogéocénoses. Finalement, la démarche intellectuelle se rapproche beaucoup de celle du médecin qui passe du diagnostic au pronostic puis au traitement.

Pour mettre en pratique les nouvelles conceptions méthodologiques avec un maximum d'efficacité, il est indispensable de créer des équipes transdisciplinaires afin de pouvoir effectuer rapidement toutes les analyses écologiques requises pour élaborer la synthèse finale à partir de laquelle une modélisation et une simulation opérationnelle sont possibles. Actuellement, la formation qui serait nécessaire pour disposer de chercheurs intégrés n'est dispensée nulle part. Il existe naturellement des individus isolés que leurs aptitudes personnelles prédisposent à faire œuvre utile dans ce genre d'équipe. Mais comme leur nombre est nettement insuffisant par rapport aux besoins existants, on en conclut logiquement qu'il serait judicieux de créer un nouvel enseignement venant à la suite de la formation traditionnelle. Ainsi, l'écologie pourrait trouver sa vraie place dans les plans d'aménagement économiques du type hydro-agricole par exemple, et les aménagistes ne pourraient qu'envisager favorablement une telle collaboration garantissant l'avenir de leurs travaux.

Cette nouvelle forme d'écologie, dite Ecologie opérationnelle, ne s'oppose aucunement aux conceptions écologiques classiques. Elle leur est même complémentaire puisqu'elle tient compte de l'expérience du passé pour expliquer le présent et prévoir l'avenir immédiat. Sa création répond simplement à de nouveaux besoins qu'il faut reconnaître et qui offrent à l'écologiste la place de conseiller efficace qui lui revient dans toutes les modifications humaines des écosystèmes. Ainsi, l'esprit critique développé jusqu'à présent *a posteriori* pour juger des réalisations aura l'occasion de s'exercer au niveau des plans d'aménagement et d'influer sur ceux-ci en assumant toutes les responsabilités y afférent.

## AUTEURS CITÉS

- AUBREVILLE A., 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. *Paris. Soc. Ed. Géogr. Marit. Colon.*, 523 p.
- BENZECCI J.-P. et coll., 1973. L'Analyse des données.  
1. La Taxinomie. 615 p.  
2. L'Analyse des correspondances. 619 p.  
*Dunod. Paris.*
- BOUR F. et coll., 1974. Aménagement écologique, réflexions méthodologiques, exemples pratiques. *Agronomie Tropicale*, XXIX, (2-3), pp. 126-363.
- BOURDU R., 1968. Les écosystèmes. 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> parties. *Ss réf.*
- CHARLES-DOMINIQUE P., 1978. Ecology and behaviour of nocturnal primates. Prosimians of equatorial West Africa. *G. Duckworth*, 278 p.
- CHEVALLIER A., 1900. Les zones et les provinces botaniques de l'Afrique Occidentale Française. *C.R. Ac. Sci.*, 130, 1205-1208.
- DAJOZ R., 1975. Précis d'Ecologie. *Paris. Dunod. Gauthiers-Villars*, 550 p.
- DURANTON J.-F., 1975. Recherches phytosociologiques dans le Sud et le Sud-Ouest de Madagascar. *Paris. Ministère de la Coopération*. 182 p.
- DURANTON J.-F., 1976 a. Mise au point et utilisation d'une fiche descriptive des sites de relevés. Contribution méthodologique. *Paris. Rapport GERDAT-PRIFAS*. D. 65. 18 p.
- DURANTON J.-F., 1976 b. Etudes phytophénologiques en zone tropicale semi-aride. Contribution méthodologique. *Paris. Rapport GERDAT-PRIFAS*. D. 58. 9 p.
- DURANTON J.-F., 1976 c. Recherches phytophénologiques dans le Sud et le Sud-Ouest de Madagascar. *Paris. Rapport GERDAT-PRIFAS*. D. 49. 23 p.
- DURANTON J.-F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.-H., LECOQ M., 1977. Etude pluridisciplinaire intégrée de l'écologie du criquet migrateur malgache *Locusta migratoria capito* (SAUSS.). Existe aussi en allemand, en anglais, en arabe, en espagnol. *Paris. Ministère de la Coopération*, 36 p.
- DURANTON J.-F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.-H., LECOQ M., 1978. Programme de Recherches Interdisciplinaire Français sur les Acridiens du Sahel. PRIFAS. 1975-1978. Bilan scientifique et technique. Existe aussi en anglais. *Paris. Ministère de la Coopération*. 24 p.
- DUVIGNEAUD P., 1974. La Synthèse écologique. *Paris. Douin*. 296 p.
- GODRON M. et coll. 1968. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. *Paris. CNRS*. 292 p.
- GOUNOT M., 1969. Méthode d'étude quantitative de la végétation. *Paris. Masson*. 314 p.
- GUINOCHET M., 1973. Phytosociologie. *Paris. Masson*. 227 p.
- HOLLING C. S. 1963, 1964, 1965, 1966. in SOUTHWOOD T. R. E. Ecological methods. Chapitre 12. Experimental Component. Analysis of Population Processes, *Chapman and Hall*, 391 p.
- KUHNOLTZ-LORDAT G., 1956. L'écologie travail d'équipe. *Paris. Bulletin du Muséum*. 2<sup>e</sup> série, XXIX (1). pp. 70-81.
- LAMOTTE M. et BOURLIÈRE F. et coll., 1967. Problèmes d'Ecologie. Problèmes de productivité biologique. *Masson. Paris*. 246 p.
- LAMOTTE M. et BOURLIÈRE F. et coll., 1969. Problèmes d'Ecologie. L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. *Masson. Paris*. 303 p.
- LAMOTTE M. et BOURLIÈRE F. et coll., 1978. Problèmes d'Ecologie. Structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. *Masson. Paris*. 345 p.

- LAUNOIS M., 1973. Les pullulations saisonnières du criquet migrateur à Madagascar. Etudes biologiques. *PNUD(FS) MML/BIO/3*. Projet MAG 70/523. *FAO (Rome)*. 29 p.
- LAUNOIS M., 1974 a. Influence du facteur pluviométrique sur l'évolution saisonnière du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (SAUSS.) en phase solitaire et sur sa grégarisation à Madagascar. *Paris. Ministère de la Coopération*. 159 p.
- LAUNOIS M., 1974 b. Visite d'Expert-Conseil au Mali. 21 juillet-21 août 1974. Etudes biologiques. *PNUD(FS) AML/BIO/4*. Projet RAF 69/146. *FAO (Rome)*. 42 p.
- LAUNOIS M., 1976 b. Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie : Application à *Oedaleus senegalensis* (KRAUSS). Rapport *GERDAT-PRIFAS*. D. 67. 160 p. *Sous presse* 1978. *Ministère de la Coopération. Paris*.
- LE BERRE J.-R., 1976. Ecologie. Dynamique des populations animales. 1<sup>re</sup> partie : Etudes numériques. 159 p. 2<sup>e</sup> partie : Potentiel biotique. 113 p. *Laboratoire d'entomologie et d'écophysiologie expérimentale. Paris-Sud. Centre d'Orsay*.
- LECOQ M., 1974. Rapport d'Expert-Conseil au Mali et au bassin du Lac Tchad. *PNUD(FS) AML/BIO/5*. Projet RAF 69/146. 38 p.
- LECOQ M., 1977. Etude d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest. 1. La dynamique des populations. Tome 1. 96 p. Tome 2. 212 p. *Rapport GERDAT-PRIFAS*. D. 87. *Sous presse* 1978. *Ann. soc. ent. Fr.* 14 (4).
- LEMEÉ G., 1978. Précis d'Ecologie Végétale. *Paris. Masson*. 292 p.
- LONG G. et coll., 1974, 1975. Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. *Paris. Masson*.  
Tome 1. 1974. Principes généraux et méthodes. 204 p.  
Tome 2. 1975. Application du diagnostic phyto-écologique. 232 p.
- METCALF R. L. et LUCKMANN W. H., 1975. Introduction to insect pest management. *New York. J. Wiley, and Sons*. 588 p.
- MOLINIER R. et VIGNES P., 1971. Ecologie et biocénotique. *Neuchâtel. Delachaux et Niestlé*. 460 p.
- ODUM E. P., 1959. Fundamentals of Ecology. *W.B. Saunders Company*. 2<sup>e</sup> édition. 546 p.
- PAULIAN R., 1948. Notion, limites et importances des niches écologiques. *Rev. franç. Ent.*, XV, pp. 161-165.
- PRENANT M., 1934. Adaptation, écologie et biocénotique. *Paris. Herman et Cie*. 60 p.
- REY P., 1967. 1. La carte de la végétation, base d'un recensement des ressources biologiques.  
2. Réflexions sur la régionalisation de l'aménagement des ressources naturelles.  
*Union Géographique Internationale. Congrès d'OTTAWA*. 16-17 mars 1967. 4 p.
- SUKACHEV N. V., 1954. Quelques problèmes théoriques de la phytosociologie. *Essais de botanique, Acad. Sc. URSS*. pp. 310-330.
- VERDIER P. et QUEZEL P., 1951. Les populations de Carabiques dans la région littorale languedocienne. Leurs rapports avec le sol et sa couverture végétale. *Vie et Milieu*. II (1). pp. 71-94.

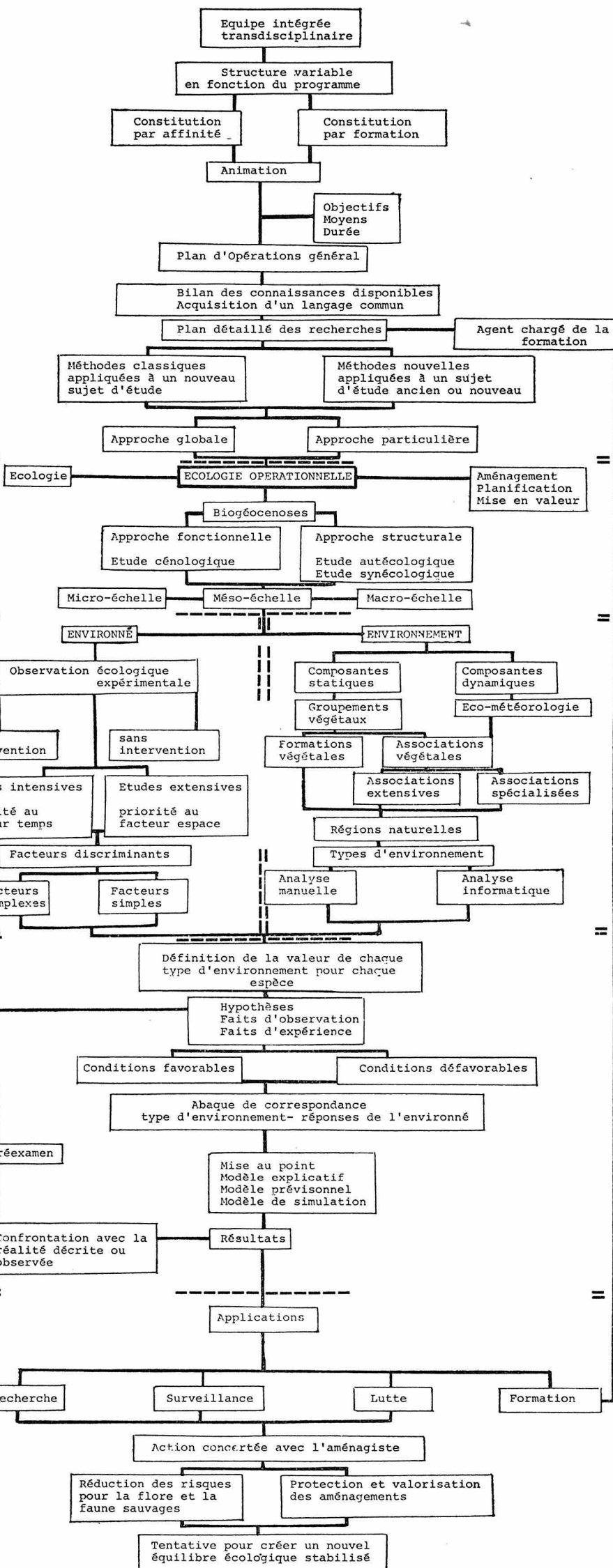


Figure 2. — Graphe de synthèse en écologie opérationnelle.





